

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

**Inovace technologie opracování otvorů pro teplosměnné trubky  
zařízení jaderných elektráren**

**ve VÍTKOVICÍCH POWER ENGINEERING a. s.**

**Boring Technology Innovation for Heat Transfer Tubes of Nuclear  
Power Station Equipment**

**in VÍTKOVICE POWER ENGINEERING a. s.**

Student:

Martin Konůpka

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Dr. Ing. Ivan Mrkvica

Ostrava 2011

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra obrábění a montáže

## Zadání bakalářské práce

Student: **Martin Konůpka**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie  
Specializace: 70 Strojírenská technologie  
Téma: Inovace technologie opracování otvorů pro teplosměnné trubky zařízení  
jaderných elektráren ve VÍTKOVICÍCH POWER ENGINEERING a.s.  
Boring Technology Innovation for Heat Transfer Tubes of Nuclear  
Power Station Equipment in VÍTKOVICE POWER ENGINEERING  
a.s.

Zásady pro vypracování:

1. Popis stávajícího stavu výroby.
2. Návrh inovativního řešení pro opracování otvorů.
3. Výběr optimální varianty řešení včetně návrhu upínacího přípravku.
4. Technicko-ekonomické zhodnocení navrženého řešení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] HUMÁR, A.; PÍŠKA, M. Moderní řezné nástroje a nástrojové materiály. *MM Průmyslové spektrum*. Speciální vydání, 2004, 110 s. ISSN 1212-2572.
- [2] SANDVIK COROMANT. *Příručka obrábění. Kniha pro praktiky*. Praha : Sandvik CZ Praha, 1997. ISBN 91-972299-4-6.
- [3] SANDVIK COROMANT. *Drehen von rostfreiem Stahl*. Anwendungshandbuch. Skövde : Sandvik Coromant, 5/1997, 88 s.
- [4] GVÁLA, B.; VOTAVA, L. *Přípravky*. Praha : SNTL Praha, 1988, 214 s.
- [5] NORMY, PROSPEKTY, KATALOGY.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Dr.Ing. Ivan Mrkvica**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011



doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě ...23. 5. 2011.....

.....Marlin Konečný.....  
podpis studenta

## Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na mojí bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická universita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajovy.

V Ostravě ...23.5. 2011.....

.....*Martin Konůpka*.....  
podpis studenta

Martin Konůpka

M. Chasáka 3146

738 01 Frýdek-Místek

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

KONŮPKA, M. *Inovace technologie opracování otvorů pro teplosměnné trubky zařízení jaderných elektráren ve VÍTKOVICÍCH POWER ENGINEERING a.s.: bakalářská práce.* Ostrava VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže, 2011, 41 s. Vedoucí práce: Mrkvica, I.

Práce se zabývá návrhem nové technologie výroby otvorů v přepážkách pro teplosměnné trubky. První část práce popisuje vyráběnou přepážku, její materiál a problematiku obrábění austenitických ocelí. Následující část obsahuje výrobní postup přepážky, popis stávající technologie výroby otvorů a výpočet nákladů pro výrobu těchto otvorů. Práce se dále zabývá návrhem řešení optimalizace, přípravku a řezných nástrojů pro novou technologii. V poslední kapitole je výběr vhodného řezného nástroje s ekonomickým vyhodnocením. Nová technologie byla použita ve výrobě a byly pomocí ní vyrobeny tři sady přepážek.

## ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

KONŮPKA, M. *Boring Technology Innovation for Heat Transfer Tubes of Nuclear Power Station Equipment in VÍTKOVICE POWER ENGINEERING a. s.: Bachelor Thesis.* Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering. Department of Working and Assembly, 2011, 41 p. Thesis head: Mrkvica, I.

This work contains concept on the new technology of machining holes for heat transfer tubes. The first part of this work described manufactured cross wall, their material and problems of machining austenitic steels. The next part includes description of production of the cross wall, current technology of manufacturing holes and calculation costs for manufacturing these holes. Further work is dealing with concept of optimization, jig and cutting tools for new technology. The last chapter contains choose optimal cutting tool with economic evaluation. The new technology was used in production and three sets of cross walls were made by them.



## OBSAH

<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZNAČEK.....</b>	<b>- 7 -</b>
<b>ÚVOD.....</b>	<b>- 9 -</b>
<b>1 CHARAKTERISTIKA PODNIKU.....</b>	<b>- 10 -</b>
1.1 Historie podniku.....	- 10 -
1.2 Vítkovice Power Engineering a.s. ....	- 11 -
<b>2 POPIS VÝROBKU .....</b>	<b>- 13 -</b>
2.1 Materiál přepážky.....	- 14 -
2.2 Obrábění austenitických ocelí .....	- 15 -
2.3 Nerezové prostředí .....	- 16 -
<b>3 POPIS VÝROBY PŘEPÁŽKY STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIÍ .....</b>	<b>- 17 -</b>
3.1 Výroba otvorů podle stávající technologie.....	- 17 -
3.3 Náklady na výrobu otvorů v přepážce použité jako šablona.....	- 19 -
3.4 Náklady na vrtání otvorů šesti přepážek vrtáčkou VR 5.....	- 21 -
<b>4 NÁVRH ŘEŠENÍ OPTIMALIZACE .....</b>	<b>- 24 -</b>
4.1 Popis horizontální vyvrtávačky WEQ 200NC .....	- 24 -
4.2 Návrh možností optimalizace.....	- 25 -
4.3 Návrh přípravku .....	- 29 -
<b>5 NÁVRH VARIANT ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ.....</b>	<b>- 30 -</b>
5.1 Varianta 1 – Korunkový SK vrták SMD od firmy Sumitomo .....	- 31 -
5.2 Varianta 2 – Šroubovitý vrták AGSUSS FMX od firmy Nachi.....	- 32 -
5.3 Varianta 3 – Šroubovitý monolitní SK vrták 89450 od firmy Hartner .....	- 33 -
<b>6 HODNOCENÍ VARIANT .....</b>	<b>- 34 -</b>
6.1 Výběr optimální varianty .....	- 34 -
6.2 Ekonomické zhodnocení .....	- 35 -
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>- 38 -</b>
<b>PODĚKOVÁNÍ.....</b>	<b>- 39 -</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>- 40 -</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>- 41 -</b>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZNAČEK

<b>Značení</b>	<b>Význam</b>	<b>Jednotka</b>
A	Tažnost	[%]
ASME	Americká společnost strojních inženýrů	[-]
ČSN	Česká státní norma	[-]
DIN	(Deutsche Industrie Normen) Německá norma	[-]
D	Průměr	[mm]
GOST	Ruská norma	[-]
ISO	Mezinárodní normalizační organizace	[-]
L	Celková hloubka vrtání	[mm]
N <sub>C</sub>	Celkové náklady nové technologie	[Kč]
N <sub>CP</sub>	Celkové náklady původní technologie	[Kč]
N <sub>N</sub>	Náklady na nástroje	[Kč]
N <sub>P</sub>	Náklady na výrobu přípravku	[Kč]
N <sub>SA</sub>	Režijní náklady pro výrobu otvorů novou technologií	[Kč]
N <sub>SV</sub>	Režijní náklady pro výrobu otvorů ve svazcích	[Kč]
N <sub>š</sub>	Náklady pro výrobu všech otvorů v šabloně	[Kč]
N <sub>US</sub>	Úspora nové technologie	[Kč]
R <sub>m</sub>	Mez pevnosti	[MPa]
RO	Rychlořezná ocel	[-]
R <sub>p0,2</sub>	Mez kluzu 0,2 %	[%]
RS <sub>VR</sub>	Režijní sazba radiální vrtačky VR5	[Kč]



<b>Značení</b>	<b>Význam</b>	<b>Jednotka</b>
RS <sub>w</sub>	Režijní sazba horizontální vyvrtávačky WEQ200 NC	[Kč]
SK	Slinutý karbid	[-]
T <sub>C</sub>	Celkový čas	[min]
T <sub>ot</sub>	Celkový čas pro výrobu jednoho otvoru	[min]
VB	Šířka opotřebení na hřbetě nástroje	[mm]
VPE	VÍTKOVICE POWER ENGINEERING	[-]
a. s.	Akciová společnost	[-]
f	Posuv	[mm]
k <sub>c</sub>	Směnový koeficient	[-]
l	Tloušťka materiálu	[mm]
l <sub>n</sub>	Délka náběhu	[mm]
l <sub>p</sub>	Délka přeběhu	[mm]
n	Otáčky	[min <sup>-1</sup> ]
t	teplota	[°C]
t <sub>a</sub>	Vedlejší čas	[min]
t <sub>c</sub>	Směnový čas	[min]
t <sub>s</sub>	Strojní čas	[min]
v <sub>c</sub>	Řezná rychlost	[m.min <sup>-1</sup> ]
v <sub>f</sub>	Posuvová rychlost	[m.min <sup>-1</sup> ]





## ÚVOD

Téma bakalářské práce bylo zadáno firmou Vítkovice Power Engineering a.s. Práce je zaměřená na návrh inovace technologie výroby otvorů pro teplosměnné trubky nízkotlakých ohříváků pro jaderné elektrárny, za použití stávajícího strojního zařízení a jeho modernizace.

Předmětem tohoto projektu je vylepšení technologie vrtání velkého množství otvorů v přepážkách z nerezové oceli 08CH18N10T na horizontální vyvrtávačce WEQ 200NC.

V dnešním tržním světě, pro udržení firmy Vítkovice Power Engineering a.s. v hlavním žebříčku celosvětových dodavatelů těchto výrobků je potřeba stále držet krok s konkurencí, což obnáší zvyšování produktivity při co jak nejnižších nákladech, za dodržení předepsané jakosti a specifických kritérií pro výrobu zařízení jaderné energetiky. Tyto faktory určují konečnou cenu výrobku, která je rozhodující v konkurenčním boji výběrového řízení mezi ostatními dodavateli.



# **1 CHARAKTERISTIKA PODNIKU**

Jeden z nejvýznamnějších metalurgicko-strojírenských komplexů celé Evropy, nejen díky své dlouholeté tradici, ale taky kvůli své mohutnosti je bezesporu podnik VÍTKOVICE.

## **1.1 Historie podniku**

Jeho vznik se datuje k roku 1828 výstavbou tzv. Rudolfovi huti v malé vesnici Vítkovice, kterou založil olomoucký arcibiskup arcivévoda a kardinál Rudolf Jan, po doporučení technika, odborníka na geologii a vídeňského profesora Františka Xavera Riepla. Tato pudlovací pec k zušlechťování surového železa v rakouské monarchii provedla první tavbu 16. září 1830 a účastnila se na vzniku severojižní železnice v roce 1847, díky ní se pak místní výrobky mohly rozšířit dál po Evropě. [1]

V roce 1833 se zprovoznila válcovna, poté v roce 1836 zde vznikla první vysoká koksová pec a celý komplex se postupně rozšířil o další dílny pro výrobu mostů, kotlů a strojních součástí.

Příchodem nového, většinového vlastníka, bankéře Salomona Mayera Rothschilda roku 1843 se začal budovat soběstačný komplex a jedno z největších monopolních sdružení v Evropě. Strojírna vyráběla parní stroje, stroje pro hutě železniční vagony, kola i výhybky.

Vítkovické horní a hutní těžířstvo vzniklo v roce 1873, které vlastnili bratři Gutmanové a bankovní dům Rothschildů. Tito spolumajitelé byli nacisty v roce 1939 vymazáni z horních knih.

Po ukončení II. světové války v roce 1946 se VÍTKOVICE staly národním podnikem, a posléze k 31.1.1992 akciovou společností. V srpnu 2003 byla společnost privatizována do soukromých rukou. Jan Světlík byl jmenován předsedou představenstva a ředitelem. [1]

## **1.2 Vítkovice Power Engineering a.s.**

Jedná se o jednu z dceřiných společností VÍTKOVICE a.s., jejíž historie sahá do roku 1828 a patří k nejstarším strojírenským podnikům střední Evropy.

### **Vznik společnosti**

Společnost se vyvinula z dřívější kotlářské dílny, která byla v roce 1845 součástí dílen Rudolfovy huti. Původní výroba byla zaměřena na parní kotle, vysokotlaké a nízkotlaké nádoby, později v 70. letech se výroba zabývala převážně komponenty jaderných elektráren a souvisejícím výzkumem koroze, životnosti, spolehlivosti a především bezpečnosti zařízení. V následujícím postupu času se sortiment výroby rozšířil o další odvětví.

### **Výrobní sortiment**

1. Energetická zařízení
2. Zařízení pro chemii a petrochemii
3. Jaderná energetika
4. Koksovny, vysoké pece, úpravny surovin
5. Smaltované nádrže
6. Bioplynové stanice
7. Čistírny odpadních vod
8. Ocelové konstrukce těžké
9. Ocelové konstrukce střední a lehké
10. Povrchové úpravy a zinkování
11. Komplexní realizace investičních celků



*Obr. 1.1 Výrobní sortiment [1]*



## **Řízení a kontrola jakosti**

Již zmiňovaná výroba různých zařízení ve Vítkovicích Power Engineering a.s. by nebyla nějak zvlášť neobvyklá, nebýt zvýšeného důrazu na program kontrol a certifikací, který ji činí sice nákladnější, ale spolehlivě hlídá jakost výroby.

Vítkovice Power Engineering a.s. si vytvořila a zavedla svůj systém hodnocení a zajištění jakosti v souladu normy ISO 9001 a certifikovaný RW TÜV, pro konstrukci, výrobu, montáž i servis tlakových nádob, parních kotlů, potrubí, skladovacích nádrží a energetických zařízení. K těmto procesům jsou držitelem oprávnění RW TÜV podle AD-Merkblatt HPO/TRD201, dále vlastní oprávnění společnosti ASME podle Code, Sekce I a Sekce VIII. [1]

Pro projekci a výrobu svařovaných tlakových nádob jsou držiteli oprávnění Lloyd's Register Rules and Regulations a ke svařování netlakových komponentů vlastní Velký svařecký průkaz dle DIN 18 800 díl 7 vydaného SLV Berlín.

Co se týče výroby dílů a zařízení jaderných elektráren je autorizována firmou Framatome podle RCC-M Code.

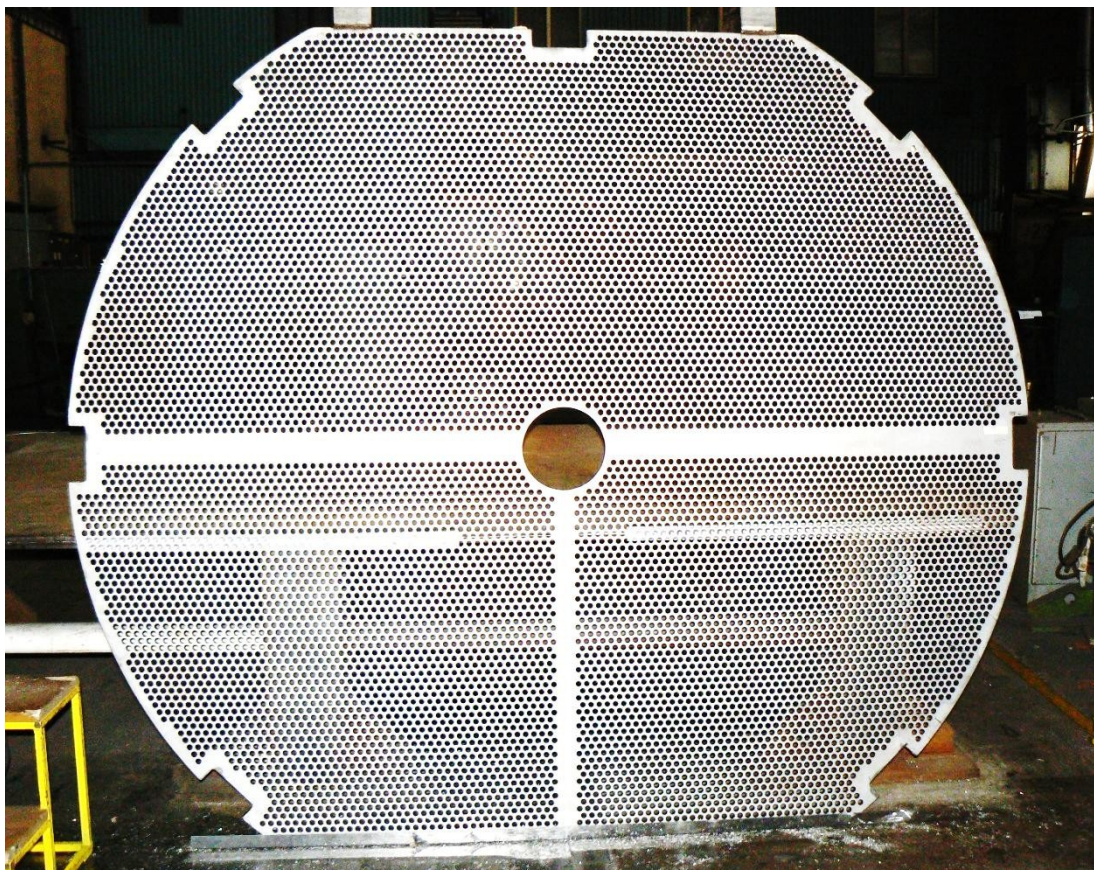
Útvar kontroly jakosti pomocí svých pracovníků zajišťuje veškerou kontrolu jakosti v celém průběhu výroby. Největší pozornost bývá zpravidla věnována kontrolám vstupního, základního materiálu a svařovacího materiálu. Program kontrol bývá dále určen kontraktem uzavřeným se zákazníkem.

Ke kontrole se používají nejnovější zkušební metody nedestruktivních zkoušek, zkoušek mechanických vlastností, ale taky metalografické zkoušky prováděné útvarem Laboratoře a zkušebny.

Jakost výroby bývá hlídána kromě vnitřního systému kontrol taky autorizovanými přejímacími organizacemi, dozorem zákazníka nebo státní inspekcí.

## 2 POPIS VÝROBKU

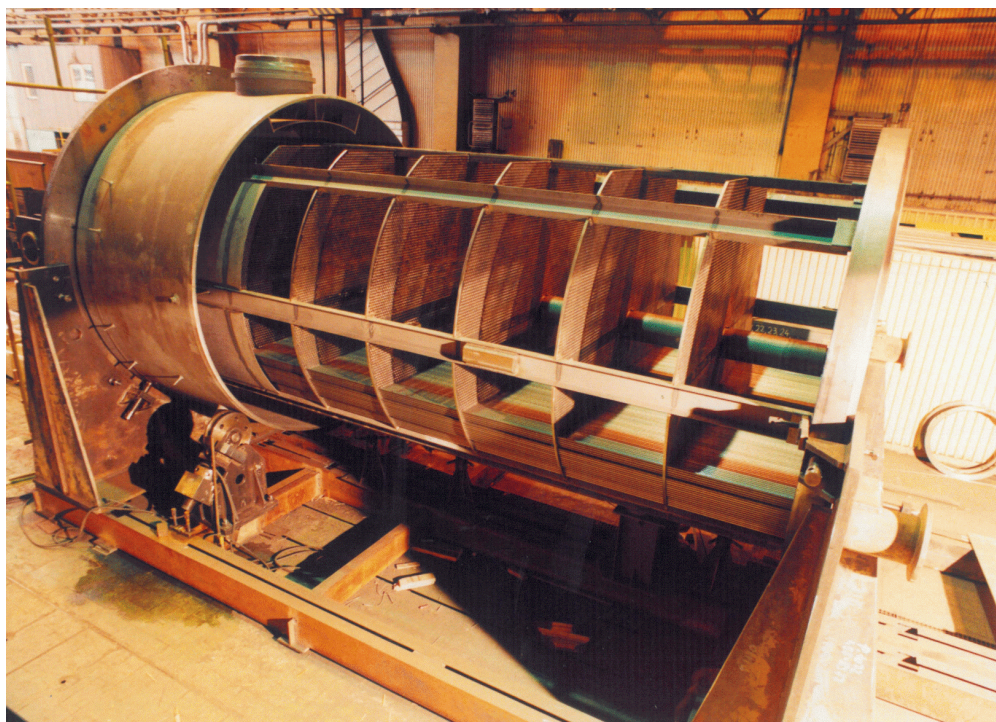
Přepážka je vyrobená z plechu tloušťky 16 mm z nerezové austenitické oceli 08CH18N10T dle GOST (ekvivalent dle ČSN 17 248), vnější průměr přepážky je 2600 mm a je v ní vyrobeno 10 528 otvorů s průměrem 16,5 mm, které slouží k podepření svazku teplosměnných trubek. Výrobní výkres přepážky je zařazen v práci jako příloha A.



*Obr. 2.1 Přepážka*

Na obrázku č. 2.2 je vidět sestava trubkovnic, přepážek a část vložených teplosměnných trubek v průběhu montáže trubkového svazku přehříváku.





Obr. 2.2 Montáž teplosměnných trubek v přehříváku

## 2.1 Materiál přepážky

Přepážky pro tento přehřívák jsou vyrobeny z nerezové, žárupevné, austenitické oceli 08CH18N10T, která obsahuje jemný precipitát Ti (CN) s chemickým složením uvedeným v tab. 2.1 a mechanickými vlastnostmi uvedenými v tab. 2.2

Tab. 2.1 Chemické složení

Obsah prvků v %							
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Ti
<0,08	<2,00	<0,8	<0,035	<0,020	17 - 19	9 - 11	<0,6

Tab. 2.2 Mechanické vlastnosti

t = 20 °C			t = 250 °C
R <sub>m</sub> [MPa]	R <sub>P0,2</sub> [MPa]	A [%]	R <sub>P0,2</sub> [MPa]
>490	>195	>35	>195

## **2.2 Obrábění austenitických ocelí**

Veškeré austenitické oceli jsou obtížně obrobitelné, kvůli mechanickým vlastnostem těchto materiálů. Mají vysokou pevnost, velkou houževnatost i tvárnost a nízkou mez kluzu. Mívají až o 35% více jiných převážně legujících prvků, než u běžných uhlíkových ocelí, kde se tato hodnota pohybuje kolem 1,5%. Dále disponují nízkou tepelnou vodivostí, která se pohybuje kolem 30%, při porovnání s uhlíkovými oceli. Kvůli těmto vlastnostem jsou zejména při obrábění náchylné ke zpevňování. [2]

Ke zpevňování dochází především při působení velkého měrného tlaku a teploty, kdy se austenit začne měnit na deformační martenzit, přičemž se v materiálu tvoří tvrdé karbidy, a taky vznik zbytkového pnutí. Tento jev se vyskytuje v odřezávané vrstvě a v povrchové vrstvě obrobené plochy, kde mívá za následek vznik velmi malých trhlinek na povrchu materiálu. Tyto trhlinky jsou potom jako konstrukční nebo technologické vruby koncentrátoři napětí a snižují únavovou pevnost výrobku. I při pouhé plastické deformaci povrchu vyvolané např. válečkováním povrchu bez tepelného účinku dochází v materiálu ke ztrátě korozivzdornosti z důvodu strukturních změn.[3]

Problematika obrábění těchto ocelí bývá rychlé opotřebení bříty nástroje, špatně se tvořící tříska a její odchod. Možný vznik plastické deformace řezné hrany a vznik nárůstků, z důvodu nízké tepelné vodivosti tohoto materiálu.

Proto je při obrábění velmi důležitá geometrie řezného nástroje, která musí mít především ostrou řeznou hranu, pro vrtání se jedná o velký úhel čela i hřbetu a doporučuje se zkrácení příčného ostří na minimum. Taková geometrie sníží řezný odpor a hlavně vznik plastických deformací na povrchu obráběného materiálu.

Další vliv má bezesporu procesní kapalina, která kromě všech podpůrných funkcí musí hlavně uchládit místo řezu, aby zde nedošlo vlivem teploty ke strukturním změnám. Pro vrtání je velmi důležité chlazení středem nástroje, při patřičném tlaku a kvalitě procesní kapaliny.

## 2.3 Nerezové prostředí

Přepážka se vyráběla z nerezové oceli jejíž vlastnosti už byly zmíněny v minulé podkapitole, proto je bezprostředně nutné při práci s tímto materiálem dodržovat zásady pro manipulaci s korozivzdornými austenitickými oceli. Následuje stručný výpis hlavních zásad:

### 1. Je nepřipustný jakýkoliv kontakt :

- S nelegovanými a nízkolegovanými oceli
- S korozními splodinami uhlíkové oceli
- S chloridy a látkami obsahujícími chloridy v koncentraci nad 60 mg/kg
- S látkami majícími obsah chloridů nižší než 60 mg/kg, avšak chloridy uvolňujícími
- S rozpouštědly obsahujícími chlorovodík
- Se sulfáty

[5]

### 2. Je nutno zajistit:

- Ochranu před mechanickým poškozením povrchu
- Při znečištění povrchu okamžité a pečlivé očištění
- Při ohřevech prověření potřeby tepelného zpracování k obnově původní struktury korozivzdorné oceli
- Aby práci prováděl poučený personál
- Při kontaktu s uhlíkovou ocelí odmoření povrchu

[5]

Proto se při manipulaci s těmito výrobky používají jen určené stroje, nástroje, které jsou používány pro práci s uhlíkovými oceli, avšak vybavenými upínacími přípravky, podložkami a přidržovači z korozivzdorné oceli nebo z materiálů vyhovujícím těmto požadavkům, aby byl zamezen kontakt výrobku s čímkoliv z nežádoucích materiálů.



### 3 POPIS VÝROBY PŘEPÁŽKY STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIÍ

Přepážka se vyrábí podle interního výrobního postupu podniku, následující výčet operací popisuje chronologický postup výroby. Tato práce se z tohoto postupu v následujících kapitolách zabývá pouze technologií výroby otvorů.

#### Celkový postup výroby přepážky:

1. Uvolnění materiálu do výroby, revize materiálu
2. Pálení výpalku plazmou, včetně přenesení razidel
3. Broušení po pálení
4. Rovnání
5. Rozměrová a tvarová kontrola
6. Rýsování pro opracování
7. Vrtání šablony
8. Slicování a sestehování 3 přepážek a jedné přepážky šablony pro společné vrtání a opracování obvodu
9. Sešroubování pro opracování
10. Frézování vybrání a dvou rovných hran
11. Vrtání dvou svazků přepážek
12. Demontování šroubů, rozbroušení svarů
13. Sražení hran

#### 3.1 Výroba otvorů podle stávající technologie

Původní technologie probíhala tak, že se nejprve odvrtala první přepážka na vodorovné vyvrtávače WEQ 200NC, která byla následovně použita jako šablona. Ta se potom sestehovala a sešroubovala s dalšími třemi přepážkami, tak aby podle ní mohlo posléze proběhnout celkové svrtání přepážek jako svazku. Na svrtávání bylo použito už jen klasických otočných (radiálních) vrtaček VR 5 s režíjí 642 Kč/hod. Důvodem byla možnost souběhu více vrtaček na svazku přepážek s cca poloviční hodinovou sazbou oproti horizontální vyvrtávače. Tento proces probíhal při řezných podmínkách pro obyčejné šroubovitě vrtáky z RO, které byly:  $n = 100 \text{ min}^{-1}$  a  $v_f = 12 \text{ mm/min}$ .

Svrtávání svazků pomocí vrtaček VR 5, bylo ekonomicky výhodné, ale neslo sebou problematiku značných vedlejších časů při procesu vrtání, a to z následujících důvodů:

- Ustavení svazku
- Přemísťování svazku (Rozsah ramene vrtačky nevyšel na celý výrobek)
- Časté vyjíždění a zastavování z důvodu odstraňování třísek
- Výměna nástrojů
- Kontrola rozměrů



*Obr. 3.1 Radiální (otočná) vrtačka VR 5*

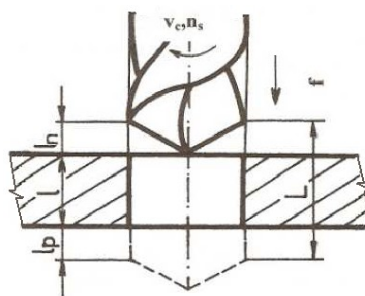
Radiální vrtačka (Obr. 3.1) se používá pro téměř všechny vrtací operace na rozměrnějších výrobcích. Má rameno, které se otáčí kolem sloupu a na tomto rameni vrtačky se po vedení pohybuje vřeteník.

### 3.3 Náklady na výrobu otvorů v přepážce použité jako šablona

Ve výpočtu nákladů jsou použity hodnoty získané z podnikového normativu, přehled hodnot je v Tab. 3.1. Pro dosažení přesnější tolerance rozměrů a lepší kvality povrchu jsou sníženy otáčky a posuv.

Tab. 3.1 Parametry a hodnoty pro výrobu otvorů v šabloně [6]

Parametr	značka	Hodnota
Otáčky	$n$	$150 \text{ min}^{-1}$
Posuv na otáčku	$f$	$0,15 \text{ mm}$
Tloušťka materiálu	$l$	$16 \text{ mm}$
Náběh a přeběh	$l_n + l_p$	$9 \text{ mm}$
Celková hloubka vrtání	$L$	$25 \text{ mm}$
Směnový koeficient	$k_c$	$1,09$
Vedlejší čas	$t_a$	$0,25 \text{ min}$



Obr. 3.2 Schéma vrtání šablony

Rychlost posuvu  $v_f$  je vypočtená jako součin otáček  $n$  a posuvu  $s$ .

$$v_f = n \cdot f$$

$$v_f = 150 \cdot 0,15 \quad (1)$$

$$v_f = 22,5 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$



Strojní čas  $t_s$  jednoho otvoru je vypočten jako podíl celkové hloubky  $L$  a rychlosti posuvu  $v_f$ . Hloubku  $L$  tvoří součet tloušťky přepážky, náběh a přeběh vrtáku.

$$t_s = \frac{L}{v_f}$$
$$t_s = \frac{25}{22,5} \quad (2)$$
$$t_s = 1,111 \text{ min}$$

Směnový čas  $t_c$ , tvoří převzetí práce na začátku směny a předání práce na konci směny příprava náradí a pracoviště, úklid, doplnění procesních kapalin, další časy pro potřeby pracovníka a činí 9% času směny. Výpočet jsem provedl pro jeden otvor, tj. součet strojního a vedlejšího času jednoho otvoru navýšený o 9%

$$t_c = (t_s + t_a) \cdot (k_c - 1)$$
$$t_c = (1,111 + 0,25) \cdot (1,09 - 1) \quad (3)$$
$$t_c = 0,122 \text{ min}$$

Celkový čas pro výrobu jednoho otvoru  $T_{OT}$  je tvořen součtem strojního, vedlejšího a směnového času.

$$T_{OT} = t_s + t_a + t_c$$
$$T_{OT} = 1,111 + 0,25 + 0,122 \quad (4)$$
$$T_{OT} = 1,483 \text{ min}$$

Celkový čas vrtání otvorů v šabloně  $T_C$  tvoří součin času jednoho otvorů a počtu otvorů  $i$  v přepážce.

$$T_C = \frac{T_{OT} \cdot i}{60}$$
$$T_C = \frac{1,483 \cdot 10\,528}{60} \quad (5)$$
$$T_C = 260,22 \text{ hod}$$

Režijní náklady pro výrobu všech otvorů v šabloně tvoří součin času vrtání a režijní sazba vyvrtávačky.

$$N_{\xi} = T_c \cdot RS_w$$

$$N_{\xi} = 260,22 \cdot 1235 \quad (6)$$

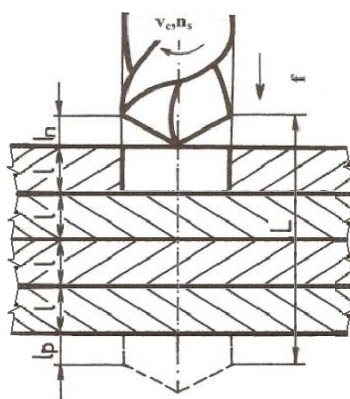
$$N_{\xi} = 321\,372 \text{ Kč}$$

### 3.4 Náklady na vrtání otvorů šesti přepážek vrtačkou VR 5

Pro výpočet nákladů jsou opět použity hodnoty získané z podnikového normativu viz. Tab. 3.2. Zde byly sníženy otáčky a posuv, aby nedocházelo k poškození otvorů v přepážce použité jako šablona z důvodu, že šablonou byla přepážka. Při vyšších řezných parametrech docházelo ke zvětšení rozměrů otvorů nad povolenou toleranci.

Tab. 3.2 Parametry a hodnoty pro výrobu otvorů ve dvou svazcích [6]

Parametr	značka	Hodnota
Otáčky	$n$	$100 \text{ min}^{-1}$
Posuv na otáčku	$f$	$0,12 \text{ mm}$
Tloušťka materiálu	$l$	$16 \text{ mm}$
Nájezd a přeběh	$l_n + l_p$	$9 \text{ mm}$
Celková hloubka vrtání	$L$	$57 \text{ mm}$
Směnový koeficient	$k_c$	$1,09$
Vedlejší čas	$t_a$	$0,25 \text{ min}$



Obr. 3.3 Schéma vrtání svazku



Rychlost posuvu  $v_f$  je vypočtená jako součin otáček  $n$  a posuvu  $s$ .

$$\begin{aligned}v_f &= n \cdot f \\v_f &= 100 \cdot 0,12 \\v_f &= 12 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}\end{aligned}\tag{1}$$

Strojní čas  $t_s$  jednoho otvoru je vypočten jako podíl celkové hloubky a rychlosti posuvu  $v_f$ . Hloubku  $L$  zde tvoří součet tlouštěk čtyř přepážek, náběh a přeběh vrtáku.

$$\begin{aligned}t_s &= \frac{L}{v_f} \\t_s &= \frac{57}{12} \\t_s &= 4,750 \text{ min}\end{aligned}\tag{2}$$

Směnový čas  $t_c$  je zde vypočten obdobným způsobem jako v minulé kapitole.

$$\begin{aligned}t_c &= (t_s + t_a) \cdot (k_c - 1) \\t_c &= (4,750 + 0,25) \cdot (1,09 - 1) \\t_c &= 0,450 \text{ min}\end{aligned}\tag{3}$$

Celkový čas pro výrobu jednoho otvoru v sadě přepážek  $T_{OT}$  je zde tvořen součtem strojního, vedlejšího a směnového času.

$$\begin{aligned}T_{OT} &= t_s + t_a + t_c \\T_{OT} &= 4,750 + 0,25 + 0,450 \\T_{OT} &= 5,450 \text{ min}\end{aligned}\tag{4}$$

Celkový čas vrtání otvorů ve dvou sadách přepážek  $T_C$  tvoří součin času jednoho otvorů  $T_C$  a počtu otvorů  $i$  v přepážce.

$$\begin{aligned}T_C &= 2 \cdot \frac{T_{OT} \cdot i}{60} \\T_C &= 2 \cdot \frac{5,450 \cdot 10 \cdot 528}{60} \\T_C &= 1 \, 912,59 \text{ hod}\end{aligned}\tag{5}$$



Režijní náklady pro výrobu všech otvorů v sadě přepážek tvoří součin času vrtání a režijní sazba radiální (otočné) vrtačky VR 5.

$$N_{SV} = T_C \cdot RS_{VR}$$

$$N_{SV} = 1912,59 \cdot 642 \quad (6)$$

$$N_{SV} = 1\,227\,883 \text{ Kč}$$

Dále se do nákladů původní technologie  $N_{CP}$  musela započítat cena požitých nástrojů a jejich přeastřování. Při použití klasických, šroubových RO vrtáků a při obrobiteľnosti daného materiálu 8b byla potřeba cca 200 ks vrtáků s přeastřováním řádově 90 ks po třech směnách provozu. Z důvodu, že přesné informace nebylo možno dohledat, byly v této práci náklady spojeny s nástroji odhadnuty na 100 000 Kč.

$$N_{CP} = N_{\xi} + N_{SV} + N_N$$

$$N_{CP} = 320\,717 + 1\,227\,883 + 100\,000$$

$$N_{CP} = 1\,648\,600 \text{ Kč}$$

Celková cena výroby otvorů v jedné sadě přepážek vycházela původní metodou na 1,648.600,- Kč, bez zohlednění výroby zaoblení hran, která se nezměnila ani u nově navržené technologie.

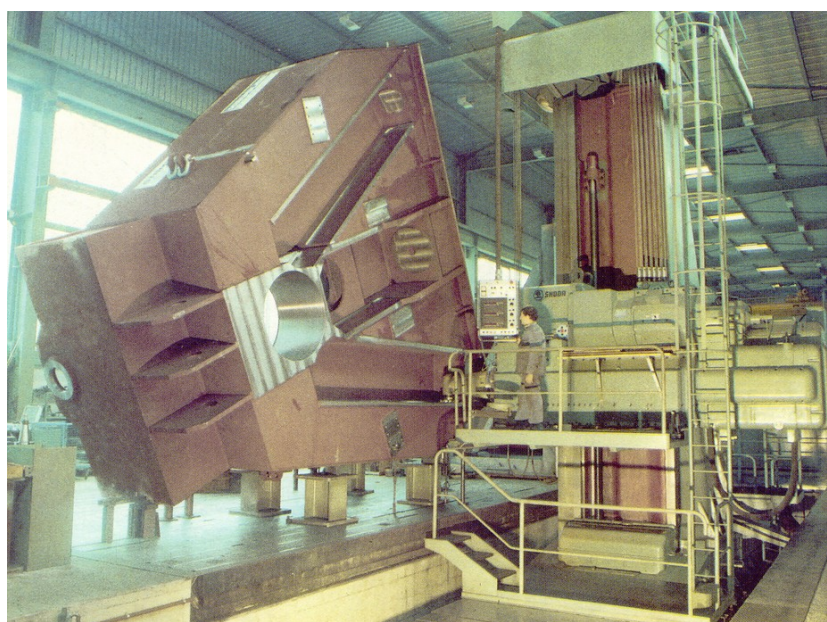
## 4 NÁVRH ŘEŠENÍ OPTIMALIZACE

### 4.1 Popis horizontální vyvrtávačky WEQ 200NC

Vodorovná vyvrtávačka WEQ 200NC je vhodná pro obrábění těžkých a velkých výrobků, lze na ní frézovat, vrtat, vyvrtávat a řezat závity. Stroj má k dispozici řídicí systém SINUMERIC 840C, otočný stůl SE 60 s velikostí upínací desky 3500 x 3500 mm a maximálním možným zatížením 60 t. Další důležité parametry jsou uvedeny v následující tabulce Tab. 5.

Tab. 4.1 Hlavní parametry

Průměr vřetene	200 mm
Upínací kužel	ISO 60
Rozměr pinoly	520 x 520 mm
Plynulý rozsah otáček vřetene	1,6 – 630 ot/min
Maximální kroutící moment vřetene	15 000 N.m
Vysuv vřetene	2 000 mm
Vysuv pinoly	1 600 mm
Pojezd vřeteníku	5 150 mm
Pojezd stojanu	20 000 mm



Obr. 4.1 Horizontální vyvrtávačka WEQ 200NC



Tento stroj má namontovanou zrychlovací hlavu Pibomulti FX300 – 04, pro připevnění za přírubu ke vřeteníku stroje. Tuto přírubu bylo nutné v minulosti vyrobit, protože nebyla součástí zrychlovací hlavy a náklady na ní činily odhadem 50.000,- Kč. Tato příruba činí zrychlovací hlavu bez konstrukčních úprav nepřenositelnou na jiný stroj v podniku a řadí se mezi dispozice stroje.

Zrychlovací hlava má pohon přes kameny kuželu ISO 50, přívod řezné kapaliny z boku hlavy, výstup řezné kapaliny kolem výstupu vřetene do místa řezu, automatické upínání nástrojů. Přehled hlavních parametrů zrychlovací hlavy je uveden v následující Tab. č. 6 – Parametry zrychlovací hlavy.

Tab. 4.2 Parametry zrychlovací hlavy FX 300 – 04

Převod otáček	1 : 4
Maximální výstupní otáčky	8 000 1/min
Maximální přenášený výkon	20 kW, 400 N.m
Výstupní vřeteno	ISO 50 DIN2080

## 4.2 Návrh možností optimalizace

Cílem návrhu je podstatně snížit náklady a zkrátit čas pro výrobu, zvýšení jakosti tj rozměrové přesnosti a drsnosti a taky snížení namáhavé ruční práce.

Horizontální vyvrtávačka byla zvolena pro opracování otvorů v přepážkách kvůli svým jedinečným dispozicím oproti ostatním strojům v rámci podniku. Mezi hlavní dispozice patří již nainstalovaná zrychlovací hlava Pibomulti FX 300 - 04, která zajišťuje zvýšení původních otáček o čtyřnásobek. Další dispozicí byla ta, že na vřeteníku stroje jsou namontovány piezokrystalické snímače s výhledem pro možnou instalaci monitorovacího zařízení, které by umožnilo kontrolovat zatížení obráběcích procesů a poslední nepomíjitelnou dispozicí je dlouholetá zkušená osádka stroje pro práce na hotovo. Z těchto předpokladů vycházejí následující návrhy optimalizace.

- 1. Instalace monitorovacího zařízení Prometec**
- 2. Instalace výkonnějšího agregátu pro přípravu chladicího média  
ChipBLASTER JV40**



## **Monitorovací zařízení PROMETEC**

Monitorovací systém monitoruje opotřebení nástroje, signalizuje potřebnou výměnu a reaguje při lomu nástroje v průběhu obráběcího procesu. Na stroji se všechny operace vykonávají nástroji upnutými ve výsuvné pinole stroje, kde jsou již instalovány piezokrystalické snímače zatížení vřetene, z tohoto důvodu pokládám za vhodné stroj dovybavit modulárním monitorovacím systémem PROMOS 2 od firmy PROMETEC, který by byl určený pro monitorování vrtacích operací, včetně hlubokého vrtání, závitorezných a frézovacích operací.

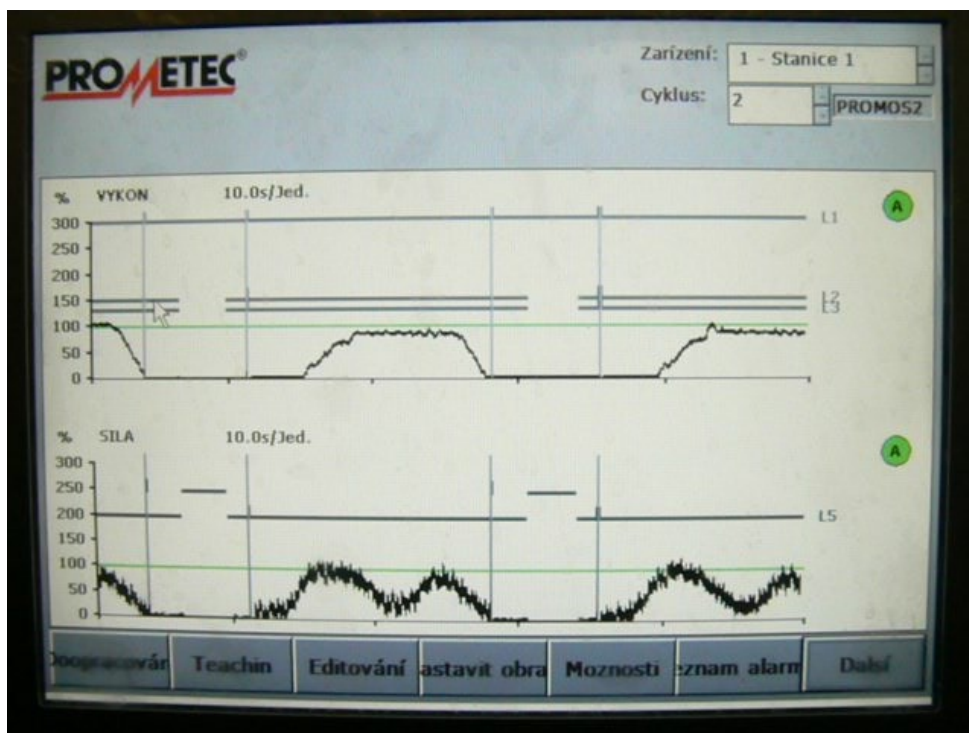
Monitorovací systémy neodstraňují důvody ke vzniku kolize, ale výrazně zmenšují jejich následky. Následuje výpis hlavních příčin kolizí na obráběcích strojích.

### Příčiny kolizí na obráběcím stroji:

- porucha řídicího systému
- chyba obsluhy
- chybné zvolení nástroje
- špatná volba stroje
- chybné programování
- špatné rozměry obrobku

## **Metoda vyhodnocování**

Vyhodnocování začíná v tzv. učícím se modu (Teach in), který nahraje signál ostrého nástroje, ovlivněného technologickými parametry. Posleze se určí, buď automaticky, nebo ručně hodnoty limitů zatížení, kdy při jejich překročení systém reaguje přednastaveným způsobem např. zastavením pracovního posuvu.[7]

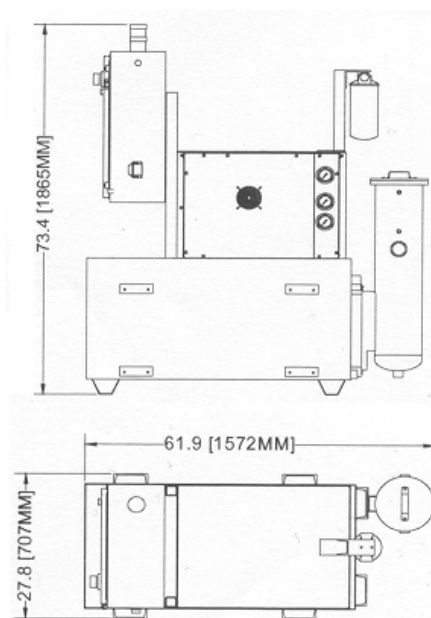


Obr. 4.2 Pohled na monitor systému PROMOS 2

Na obrázku č. 4.2 je vidět průběh monitorování zátěžových sil při vrtání otvorů v přepážkách. Zařízení hlídá efektivní výkon elektromotoru a osovou sílu zatížení vřetene. Vodorovné úsečky nad jednotlivými grafy určují limitní zatížení řezného nástroje, v horní části jsou dvě, ta nahoře určuje kritický alarm, kdy např. došlo k lomu nástroje, nebo kolize nástroje s obrobkem a systém reaguje v nejrychleji možném okamžiku 3 ms. Druhá úsečka zpravidla značí mez maximálního otupení nástroje, jejíž limit lze měnit podle potřeby a systém při překročení této hranice má reakční dobu 50 ms. Pořizovací náklady na toto zařízení včetně montáže byly do 250.000,- Kč.

### Agregát pro přípravu chladicího média ChipBLASTER JV40

Agregát pro přípravu chladicího média Chipblaster, vysokotlaká jednotka s možností nastavení tlaků do 100 barů s průtokem chladicí kapaliny 8 - 40 l/min a obsahuje nádrž o objemu 380 l. Jednotka má automatickou kontrolu množství a znečištění procesní kapaliny. Dále disponuje bezobslužným nastavením koncentrace kapaliny se zdvojenou filtrací do 1  $\mu\text{m}$ . Průběžné čištění je zajištěno magnetickou separací třísek, sběrem zbytkového oleje, odstředivou filtrací a tkaninovými filtry. Pro ovládání jednotky je nutný minimálně jeden M-kód, další počet volných a použitelných M-funkcí závisí na počtu používaných tlaků a výstupů chladicí kapaliny. [8]

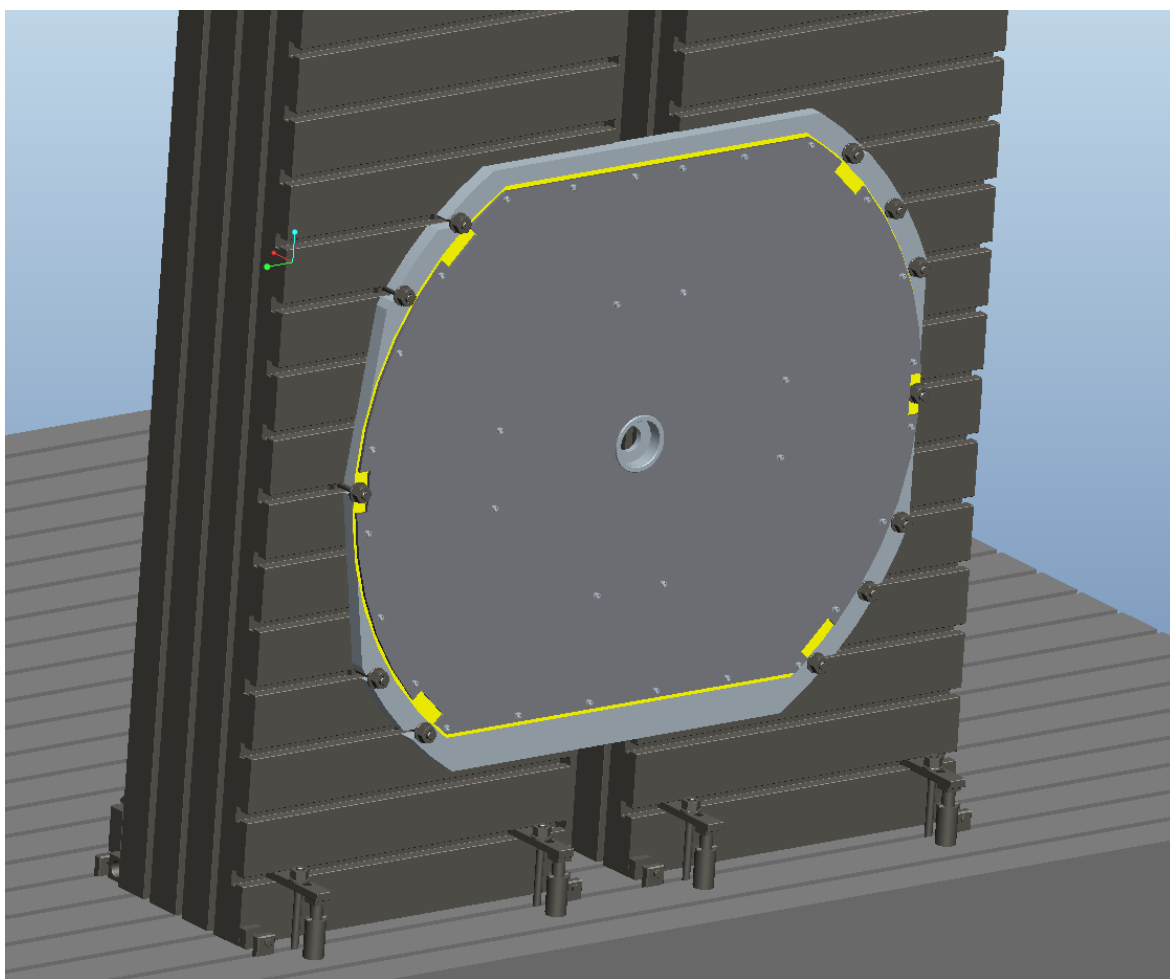


Obr. 4.3 Schéma agregátu Chipblaster JV40 [9]

Tato jednotka by měla značně vylepšit řezné parametry při obrábění, kde je důležitá kvalita procesní kapaliny, její tlak a průtok. Tyto parametry zajistí lepší odvod třísek a spolehlivé chlazení v místě řezu, obzvlášť při obrábění nerez ocelí s novodobými nástroji, kde je nutnost chlazení nepostradatelná. Celkové náklady na toto zařízení jsou do 450.000,- Kč, včetně montáže a příslušenství (10 m nasávací hadice, 10 m vysokotlaká hadice a kroužek pro přívod kapaliny do rotujícího nástroje).

### 4.3 Návrh přípravku

Přípravek pro tuhé upnutí přepážky byl z ekonomických důvodů navrhnout a vyroben ze zbylého plechu S235JR tloušťky 70 mm, nalezeného na skladě podniku. Výroba přípravku začala vypálením požadovaného tvaru, dále pokračovala obrobením čelní plochy přední a zadní strany a nakonec byly zhotoveny otvory pro upnutí přípravku a obrobku. Před namontováním přepážky na přípravek je nutné umístit mezi přepážku a přípravek folii, tak aby nedošlo ke kontaktu s touto nelegovanou ocelí a upnutí vyhovovalo podmínkám práce s nerezovou ocelí. Výkres přípravku je umístěn v práci jako příloha B. Na následujícím obrázku Obr. 4.4 je vidět pohled na model sestavy přípravku vytvořený v programu Pro/ENGINEER WILDFIRE 5. Tato sestava je součástí návrhu a je také zařazena do elektronické přílohy této práce.



Obr. 4.4 Sestava přípravku pro upnutí přepážky



Další možností by mohl být vrták s vyměnitelnými břitovými destičkami, avšak tudle možnost jsem vyloučil pro špatné zkušenosti s těmito nástroji ve VPE. Často docházelo k haváriím nástroje a potíží s odstraňováním zalomených zbytků nástroje z obrobku. Příčinou problémů byla pravděpodobně nízká tuhost výrobku a těžká obrobitelnost materiálu. Tyto nástroje dosahovaly IT přibližně 0,2 mm a Ra nad 3,2, zatímco u monolitních nástrojů bývá zaručené IT pod 0,1 a Ra menší než 1,6.

### **Monolitní vrtáky**

Tyto nástroje jsou vyrobeny z jednoho materiálu, a to z rychlořezné oceli, slinutého karbidu, cermetu, nebo řezné keramiky. Konstrukce vrtáků je většinou shodná se šroubovitými vrtáky. Nepomíjitelnou výhodou těchto nástrojů je možnost mnohonásobného přeastření, které je závislé na délce funkční části vrtáku.

### **Vrtáky s vyměnitelnou špičkou**

Tento typ vrtáku bývá obvykle zhotoven se špičkou v provedení břitové destičky, nebo s vyměnitelnou hlavicí. Hlavičky i destičky bývají vyráběny z monolitního slinutého karbidu, který může být povlakovaný, nebo nepovlakovaný. Geometrie hlavic i destiček se liší podle obráběného materiálu.

## **5.1 Varianta 1 – Korunkový SK vrták SMD od firmy Sumitomo**

Korunkový vrták s vyměnitelnou hlavou, kterou lze přeastřit. Rezerva pro přeastření je 3 mm. Lze použít pro hloubky vrtání až do 8 x D. Optimalizovaný odvod tepla pomocí přesně umístěných otvorů pro vnitřní chlazení. Vyměnitelné hlavičky jsou přišroubovány k pevnému radiálnímu vroubkování, které poskytuje tuhou a přesnou základnu pro upnutí. Hlavičky jsou vyrobeny z karbidu wolframu, který má ultra tvrdý a hladký povlak, díky němuž otvory vyrobené tímto nástrojem dokázaly docílit tolerancí podobných, jako při vystružování, a to při dvojnásobné životnosti nástroje. [10]



**Doporučené řezné podmínky pro Ø16, při obrábění austenitických ocelí:**

Řezná rychlost:  $v_c = 50 - 80 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Posuv na otáčku:  $f = 0,1 - 0,2 \text{ mm}$  [11]



*Obr. 5.2 Korunkový vrták SMD Ø16,5 od firmy Sumitomo*

Cena za kus: 9.023,- Kč

**5.2 Varianta 2 – Šroubovitý vrták AGSUSS FMX od firmy Nachi**

Tyto monolitní vrtáky jsou vyrobeny z nově vyvinuté slitiny práškové spékané rychlořezné oceli, s vyšší odolností proti vylamování a otěru. Nová optimalizovaná řezná geometrie s tvarovým odlehčením a s menším úhlem stoupání šroubovice umožňuje lepší lámání a utváření třísek. Vrták disponuje taky otvory pro vnitřní chlazení. Délka činné části vrtáku je 84 mm. [11]

**Doporučené řezné podmínky pro Ø16, při obrábění austenitických ocelí:**

Řezná rychlost:  $v_c = 60 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Posuv na otáčku:  $f = 0,27 \text{ mm}$  [12]



*Obr. 5.3 Šroubovitý monolitní vrták Ø16,5 AGSUSS FMX od firmy Nachi*

Cena za kus: 2.550,- Kč



### 5.3 Varianta 3 – Šroubovitý monolitní SK vrták 89450 od firmy Hartner

Nově vyvinutý monolitní vrták ze SK pro vrtání nerezových, kyselinovzdorných a žáruvzdorných ocelí. Disponuje otvory pro vnitřní chlazení a řeznou geometrií vyvinutou právě pro tento druh ocelí. Délka funkční části vrtáku je 73 mm. [12]

#### **Doporučené řezné podmínky pro Ø16, při obrábění austenitických ocelí:**

Řezná rychlost:  $v_c = 60 - 80 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

Posuv na otáčku:  $f = 0,16 - 0,25 \text{ mm}$  [13]



*Obr. 5.4 Šroubovitý monolitní vrták Ø16,5 89450 od firmy Hartner*

Cena za kus: 9.571,- Kč

## **6 HODNOCENÍ VARIANT**

Ověřovací zkoušky byly provedeny na zkušebním kusu o rozměrech 200 mm x 500 mm ze shodného materiálu a tloušťky, jako ze kterého jsou vyráběny přepážky.

U korunkových vrtáku docházelo k lomu korunky s destrukcí celého držáku. Neprojevilo se očekávaný efekt houževnatého tělesa tohoto vrtáku, který by tlumil vibrace. Při zavrtávání se projevilo nedostatečné chlazení špičky nástroje, zřejmě vlivem umístění chladících otvorů na vnějším průměru nástroje.

Druhou variantou byly vrtáky od firmy Nachi, kde se očekávala možnost využití většího posuvu a houževnatosti nástroje. Při všech zkoušených parametrech posuv na otáčku 0,1 – 0,3 mm nebyl dodržen průměr otvoru až o 0,5 mm, což je horní mezní tolerance. Z tvaru třísky bylo zřejmé, že větší rozměr otvoru způsobuje zařezávání fazetky a tím byl i celý proces vrtání nestabilní.

### **6.1 Výběr optimální varianty**

Monolitní vrtáky 89450 Hartner s cenou 9 571 Kč vykazovaly nejlepší výsledky, ale z důvodu velké pořizovací ceny byl odzkoušen levnější typ 89410 Hartner, který vyšel na 5 074 Kč. U tohoto vrtáku byla upravená geometrie pro nerez, zmenšením příčného ostří a zvětšením úhlu hřbetu. Takto upravený nástroj byl použit pro vrtání přepážek, vydržel 1300 otvorů s otupením VB 0,3 mm. Průměr otvoru byl dodržen v toleranci + 0,03 mm a drsnost pod Ra 1,6. Pro vlastní vrtání přepážek byly vyladěny parametry pro bezproblémový tvar a odchod třísky s otáčkami: 1200 ot/min a posuvem na otáčku 0,0833 mm. Nástroj byl vyměňován po pětistech otvorech s otupením na hřbetu VB do 0,2 mm

Pro možnost vrtání v třísměnném provozu a nutný čas pěti dnů k přeoštění a obnovení povlaku bylo pořízeno 80 vrtáků, aby mohl být zaručen cyklus, kdy čtyřicet vrtáků vystačí pro vrtání na týden v provozu, zatím co druhých 40 ks bude posláno k přeoštění.

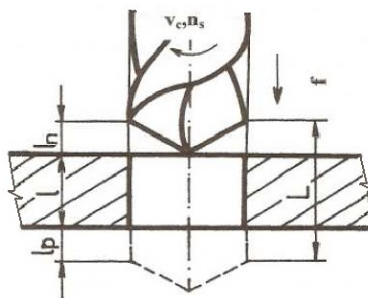
Během tří měsíců byly touto technologií opracovány tři sady po sedmi přepážkách, proto pořizovací náklady těchto vrtáků a náklady pro přeošťování a obnovu povlaku byly rozděleny do tří zakázek.

## 6.2 Ekonomické zhodnocení

Pro výpočet nákladů nové technologie jsou opět použity hodnoty získané z podnikového normativu viz. Tab. 6.1, ale hlavně řezné parametry nového nástroje.

Tab. 6.1 Parametry a hodnoty pro výrobu otvorů v šabloně [6]

Parametr	Značka	Hodnota
Otáčky	$n$	$1200 \text{ min}^{-1}$
Posuv na otáčku	$s$	$0,083 \text{ mm}$
Tloušťka materiálu	$l$	$16 \text{ mm}$
Náběh a přeběh	$l_n + l_p$	$9 \text{ mm}$
Celková hloubka vrtání	$L$	$25 \text{ mm}$
Směnový koeficient	$k_c$	$1,09$
Vedlejší čas	$t_a$	$0,25 \text{ min}$



Obr. 6.1 Schéma vrtání

Rychlost posuvu  $v_f$  je vypočtená jako součin otáček  $n$  a posuvu  $s$ .

$$v_f = n \cdot s$$

$$v_f = 1200 \cdot 0,083 \quad (1)$$

$$v_f = 100 \text{ mm/min}$$



Strojní čas  $t_s$  jednoho otvoru je vypočten jako podíl celkové hloubky a rychlosti posuvu  $v_f$ . Hloubku  $L$  zde tvoří tloušťka přepážky, náběh a přeběh vrtáku.

$$t_s = \frac{L}{v_f}$$

$$t_s = \frac{25}{100} \quad (2)$$

$$t_s = 0,250 \text{ min}$$

Směnový čas  $t_c$  je zde vypočten obdobným způsobem jako v kapitole 3.3

$$t_c = (t_s + t_a) \cdot (k_c - 1)$$

$$t_c = (0,250 + 0,15) \cdot (1,09 - 1) \quad (3)$$

$$t_c = 0,036 \text{ min}$$

Celkový čas pro výrobu jednoho otvoru  $T_{OT}$  je tvořen součtem strojního, vedlejšího a směnového času.

$$T_{OT} = t_s + t_a + t_c$$

$$T_{OT} = 0,250 + 0,15 + 0,036 \quad (4)$$

$$T_{OT} = 0,436 \text{ min}$$

Celkový čas vrtání otvorů v sedmi přepážkách  $T_C$  tvoří součin času jednoho otvorů a počtu otvorů  $i$  v přepážce vynásobený počtem přepážek.

$$T_C = 7 \cdot \frac{T_{OT} \cdot i}{60}$$

$$T_C = 7 \cdot \frac{0,436 \cdot 10 \cdot 528}{60} \quad (5)$$

$$T_C = 535,52 \text{ hod}$$



Režijní náklady  $N_{SA}$  pro výrobu všech otvorů v sedmi přepážkách se skládají z času vrtání a režijní sazby vyvrtávačky  $RS_W$ .

$$N_{SA} = T_C \cdot RS_W$$

$$N_{SA} = 535,52 \cdot 1235 \quad (6)$$

$$N_{SA} = 661\,367 \text{ Kč}$$

Náklady na nástroje  $N_N$  pro jednu ze tří sad přepážek tvoří třetina z celkového nákupu 80 ks vrtáků za 5 074 Kč a třetina z ceny 63 počtů ostření a povlakování za 475 Kč. Pro všechny tři sady bylo koupeno 80 ks vrtáků a vykazovaly trvanlivost cca 500 otvorů do přeastření. Při 10 528 otvorech v jedné přepážce, krát počet přepážek 21 ks, děleno trvanlivostí 500 ks to vychází na 63 ostření pro tři sady, tj. 21 ostření pro jednu sadu.

$$N_N = \frac{80 \cdot 5074}{3} + \frac{10\,528 \cdot 21}{3 \cdot 500} \cdot 475$$

$$N_N = 205\,318 \text{ Kč}$$

Náklady na přípravek pro jednu ze tří sad přepážek  $N_P$  tvoří třetina z celkových 100 hodin práce na výrobě přípravku v průměrné sazbě 900 Kč/hod, tj. 30 000 Kč.

Celkové náklady pro výrobu otvorů v sedmi přepážkách novou technologií se skládají z režijních nákladů pro výrobu všech otvorů  $N_{SA}$ , z nákladů na nákup, ostření a povlakování nástrojů  $N_N$  a nákladů pro výrobu upínacího přípravku  $N_P$ .

$$N_C = N_{SA} + N_N + N_P$$

$$N_C = 661\,367 + 205\,318 + 30\,000$$

$$N_C = 896\,685 \text{ Kč}$$

Výpočet úspory nové technologie  $N_{US}$  tvoří rozdíl celkových nákladů původní technologie  $N_{CP}$  a celkové náklady nově technologie  $N_C$

$$N_{US} = N_{CP} - N_C$$

$$N_{US} = 1\,648\,600 - 896\,685$$

$$N_{US} = 751\,915 \text{ Kč}$$



## ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo navržení nové technologie výroby velkého množství otvorů pro teplosměnné trubky v přepážkách nízkotlakového přehříváku PN 3000, pro renovací vysloužilých zařízení stávajících jaderných elektráren.

První část charakterizuje podnik, který se touto problematikou dlouhodobě zabývá, jeho historii, výrobní program a v neposlední řadě jeho kontrolní program, certifikace a oprávnění pro tuto důmyslnou výrobu zařízení celosvětové energetiky.

Ve druhé části je popsán postup výroby přepážky s původní technologií opracování otvorů, včetně nerezové žárupevné austenitické oceli, ze které jsou přepážky vyráběny a její problematika obrábění. Je zde uveden také seznam zásad pro práci s těmito oceli, které je nutno dodržet, aby byla zachována požadovaná jakost, těchto výrobků, které jsou vystavovány náročným podmínkám, tlaku, teploty a mnohdy i radiačnímu záření v provozu jaderných elektráren. Kapitola končí s vyčíslením nákladů pro původní technologii výroby.

V další části je uveden popis horizontální vyvrtávačky WEQ 200NC, na které proběhla výroba otvorů novou technologií ve všech přepážkách v sadě pro tři teplosměnné přehříváky. Jsou zde uvedeny dispozice stroje a návrhy optimalizace této výroby pomocí monitorovacího zařízení PROMOS 2, které bylo dovybaveno ke stroji v průběhu vrtání první přepážky a zařízení pro přípravu tlakového média procesní kapaliny ChipBLASTER JV40, které doposud pořízeno nebylo, a výroba proběhla s použitím původního čerpadla stroje s tlakem cca 8 barů. Nákup agregátu ChipBLASTER JV40 je již schválen, jako investice. Na závěr této kapitoly je uveden stručný popis návrhu a výroby přípravku, který sloužil pro upnutí přepážek v průběhu procesu vrtání.

V další části bakalářské práce jsou návrhy tří variant řezných nástrojů od světoznámých výrobců Sumitomo, Nachi a Hartner. Ty se posléze jednotlivě odzkoušely na zkušebním vzorku plechu ze stejného materiálu, jako byl pro výrobu přepážek. Na základě dosažených výsledků a konzultace se zkušenými pracovníky z technologie byla vybrána varianta, kterou byl monolitní šroubovitý vrták ze SK, s označením 89 410 od firmy Hartner.

Z výsledku ekonomického hodnocení je nově navržená technologie levnější o 751.915,- Kč a současně rychlejší o 1637,29 hod. Z takto vzniklé úspory lze pořídit potřebné investice, jak monitorovací zařízení (250.000,- Kč), tak vysokotlakový agregát pro tlakové médium (450.000,- Kč), již po třech odvrtaných svazcích.



## **PODĚKOVÁNÍ**

Na tomto místě bych chtěl poděkovat doc. Dr. Ing. Mrkvicovi z VŠB – TU v Ostravě-Porubě a Ing. Červenkovi z podniku Vítkovice Power Engineering a.s. za cenné připomínky, odbornou pomoc a konzultace při řešení tohoto úkolu.

---



## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Propagační materiály firmy VÍTKOVICE
- [2] STRNAD, T. *Obrobitelnost austenitické ocele*. Podklad k předmětu KTO/EMO. Plzeň: ČSVTS Plzeň. 2010
- [3] PÁLENÍK, J. *Optimalizace obrábění PG a KO*. Ostrava: VÍTKOVICE, 1988
- [4] VÍTKOVICE, POWER ENGINEERING a. s., Ostrava, *Specifikace materiálu na dodávku trubkového svazku pro rekonstrukci nízkotlakého přehříváku typu NTO 3000 pro atomové elektrárny typu VVER 1000*, 2010, 10 s. SM 1081/96
- [5] VÍTKOVICE, Ostrava, *Zásady pro práci a zacházení s korozivzdornými austenitickými ocelmi*, 1997. 8 s. TS 5-600-28.
- [6] VÍTKOVICE, Ostrava, *Podnikový normativ - Vrtačky* 1985. 40 s. 4-187.
- [7] PROMETEC, Bratislava, *Modulární systém monitorovania procesu PROMOS 2 - Návod na obsluhu.*, 2005. 63 s.
- [8] CHIPBLASTER, *Nabídka agregátu Chipblaster JV40.*, 2010.
- [9] MRKVICA, M. *Přípravky a obráběcí nástroje I. Díl – Řezné nástroje. 3. Vydání* Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2001, 192s. ISBN 80-7078-941-7.
- [10] Katalog, *Výkonné obráběcí nástroje : Souhrnný katalog*. SUMITOMO, 2010.
- [11] Katalog, *The new alloy HSS drill approaches the performance of a carbide drill*. NACHI, 2010.
- [12] Katalog, *Precision cutting tools : Inox drills*. HARTNER, 2010.





## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A Výrobní výkres přepážky – název výkresu - **Přepážka**

Příloha B Výrobní výkres přípravku – název výkresu - **Přípravek**